

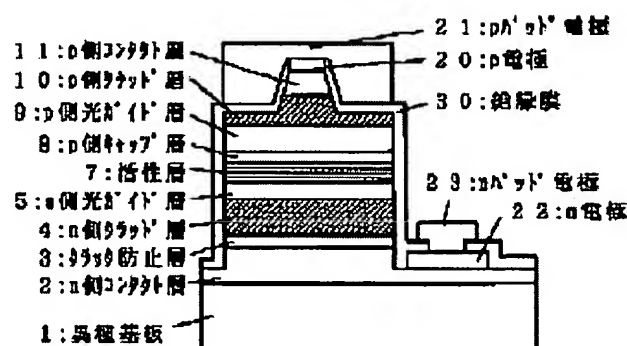
# NITRIDE SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

**Patent number:** JP2000196201  
**Publication date:** 2000-07-14  
**Inventor:** OZAKI NORIYA; NAKAMURA SHUJI  
**Applicant:** NICHIA CHEM IND LTD  
**Classification:**  
 - International: H01S5/343; H01L33/00  
 - european:  
**Application number:** JP19990254362 19990908  
**Priority number(s):**

## Abstract of JP2000196201

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve light confining efficiency in an optical guide, inside optical guide layers by enhancing refractive indexes of the optical guide layers and hence the refractive index difference between optical guide layers and clad layers.

**SOLUTION:** A p-side optical guide layer 9 has a superlattice structure, having a first Mg-doped nitride semiconductor and a second undoped nitride semiconductor, either of which contains In. An n-side optical guide layer 5 has a superlattice structure, having a third undoped nitride semiconductor and a fourth undoped nitride semiconductor, either of which contains In. This enhances the refractive indexes of the n- and p-side optical guide layers 5, 9, hence the refractive index difference from an n- and p-side clad layers 4, 10. Then light confining efficiency in an optical guide inside the n- and p-side optical guide layers 5, 9 is improved, to obtain a nitride semiconductor laser element having high emission efficiency.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-196201

(P2000-196201A)

(43) 公開日 平成12年7月14日 (2000.7.14)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード (参考)

H 0 1 S 5/343

H 0 1 S 5/343

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-254362

(22) 出願日 平成11年9月8日 (1999.9.8)

(31) 優先権主張番号 特願平10-299550

(32) 優先日 平成10年10月21日 (1998.10.21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 小崎 徳也

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

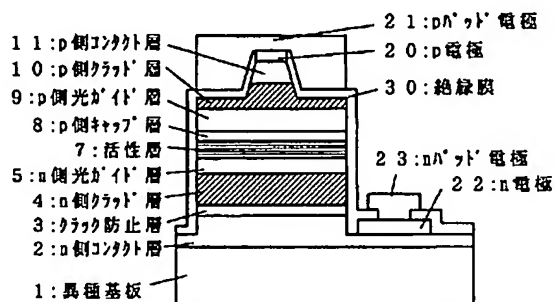
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【目的】 波長が400nmから540nm、特に430nmから540nmのレーザを発振させる際、高い発光効率を維持した窒化物半導体レーザ素子を提供する。

【構成】 窒化物半導体により形成され、活性層の両側に光ガイド層、更にクラッド層が設けられたレーザ素子において、n側、p側の両光ガイド層のInの混晶比を高くすることで屈折率を高くして、n側、p側の両クラッド層との屈折率差を大きくする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化物半導体により形成され、活性層の両側に光ガイド層、更にクラッド層が設けられたレーザ素子において、

前記光ガイド層は、p側の光ガイド層はMgドープの第1の窒化物半導体とアンドープの第2の窒化物半導体とからなる多重構造を有し、n側の光ガイド層はアンドープの第3の窒化物半導体とアンドープの第4の窒化物半導体とからなる多重構造を有することを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】前記p側の光ガイド層は、Mgドープの第1の窒化物半導体とアンドープの第2の窒化物半導体のうち、いずれか一方がInを含む窒化物半導体を有する超格子構造からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】前記n側の光ガイド層は、アンドープの第3の窒化物半導体とアンドープの第4の窒化物半導体のうち、いずれか一方がInを含む窒化物半導体を有する超格子構造からなることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】前記クラッド層のうち、p側のクラッド層はMgドープの第5の窒化物半導体とアンドープの第6の窒化物半導体とからなる多重構造を有することを特徴とする請求項1から請求項3に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項5】前記クラッド層のうち、n側のクラッド層はSiドープの第7の窒化物半導体とアンドープの第8の窒化物半導体とからなる多重構造を有することを特徴とする請求項1から請求項4に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項6】前記p側のクラッド層は、Mgドープの第5の窒化物半導体とアンドープの第6の窒化物半導体のうち、どちらか一方がAlを含む窒化物半導体を有する超格子構造からなることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項7】前記n側のクラッド層は、Siドープの第7の窒化物半導体とアンドープの第8の窒化物半導体のうち、どちらか一方がAlを含む窒化物半導体を有する超格子構造からなることを特徴とする請求項5に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項8】前記活性層の井戸層がアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0.1 \leq x \leq 0.6$ )であることを特徴とする請求項1から請求項7に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項9】前記活性層とp側光ガイド層との間にMgドープの $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) からなるp側のキャップ層を100オングストロームの厚さで設けることを特徴とする請求項1から請求項8に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は発光ダイオード、レーザダイオード等の発光デバイス、又はフォトダイオード等の受光デバイスに使用される窒化物半導体 ( $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) よりなる素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】我々はGaN基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、世界で初めて室温での連続発振1万時間以上を達成したことを発表した (INCS'97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-446、及び Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997) pp. L1568-L1571, Part 2, No. 12A, 1 December 1997)。さらに、前記レーザ素子よりサファイア基板を除去してGaN単独とすることにより、5mW出力でも1万時間以上の連続発振に成功したことを発表した (Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37 (1998) pp. L309-L312、及び Appl. Phys. Lett. Vol. 72 (1998) No. 16, 2014-2016)。

【0003】最近のレーザ素子の構造は、基本的に異種基板上、又はGaN基板上に成長されたn型GaNの上にInGaNからなるクラック防止層、クラック防止層に接してAlGaNを含む超格子構造からなるn側クラッド層、n側クラッド層上部に活性層とp側クラッド層を含むダブルヘテロ構造を有する (詳細はJpn. J. Appl. Phys. Vol. 37 (1998) pp. L309-L312参照)。このレーザ素子は70mA、閾値電流密度5kA/cm<sup>2</sup>において、408.5nmのシングルモードで発振する。閾値における電圧は6Vである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】現在の400nm付近での発光は青紫色であり、純粋な青色、更に純粋な緑色のレーザ光を得るには、より長波長の発光が求められている。ピーク波長を長波長にするには活性層の構造を変えるだけでよいが、長波長側にシフトさせると光の強度分布の半値幅が大きくなってしまい、光の閉じ込めが困難になり、しだいに発光効率が悪くなってしまおうという問題が生じてしまう。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】そこでこのような問題を解決するために、本発明では光ガイド層の屈折率を高くし、光ガイド層とクラッド層との屈折率差が大きくなるような新規な素子構造とすることで、光導波路にあたる光ガイド層より内側での光の閉じ込め効率を良くする。

## 【0006】

【発明の実施の形態】以下に図1を用いて本発明を詳細に説明する。図1は本発明の素子構造の一実施形態を示した模式的な断面図であり、レーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の図を示している。この図において1は異種基板、3はSiドープのGaNからなるコンタクト層、4はSiドープのInGaNからなる中

間層、5はアンドープのAlGa<sub>x</sub>NとSiドープのGa<sub>1-x</sub>Nとの超格子構造からなるn側クラッド層、6はアンドープのInGa<sub>x</sub>NとアンドープのGa<sub>1-x</sub>Nとの超格子構造からなるn側光ガイド層、7はInGa<sub>x</sub>N多重量子井戸構造からなる活性層、8はMgドープのAlGa<sub>x</sub>Nからなるp側キャップ層、9はアンドープのInGa<sub>x</sub>NとMgドープのGa<sub>1-x</sub>Nとの超格子構造からなるp側光ガイド層、10はアンドープのAlGa<sub>x</sub>NとMgドープのGa<sub>1-x</sub>Nとの超格子構造からなるp側クラッド層、11はMgドープのGa<sub>1-x</sub>Nからなるp側コンタクト層を示している。

【0007】本発明はn側、p側両光ガイド層の屈折率を高くして、n側、p側両クラッド層との屈折率差を大きくすることにより、光導波路にあたる光ガイド層より内側での光の閉じ込め効率をよくする。具体的には、従来までの400nm付近で発光するレーザ素子では、光ガイド層はInを含まないGa<sub>1-x</sub>Nが使われており、光ガイド層の屈折率を大きくすることに限度があった。しかし、本発明では光ガイド層を屈折率の高いInGa<sub>x</sub>Nとすることで、光の閉じ込め効率が良くなり、発光効率の高い窒化物半導体レーザ素子を得ることができるようになった。

【0008】また、本発明の窒化物半導体レーザ素子の構造で、400nmから540nm、特に430nmから540nmの連続発振が可能である。この発振波長は活性層中の井戸層の組成で決まり、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0.1 ≤ x ≤ 0.6) のxの値、即ちInの混晶比を大きくしていくと、発振波長も長波長側にシフトしていく。

【0009】また、p側の光ガイド層は、Mgドープの第1の窒化物半導体とアンドープの第2の窒化物半導体のうち、いずれか一方がInを含む窒化物半導体を有する超格子構造、n側の光ガイド層は、アンドープの第3の窒化物半導体とアンドープの第4の窒化物半導体のうち、いずれか一方がInを含む窒化物半導体を有する超格子構造とする。光ガイド層を単層ではなく多層とすることで、結晶性が良くなる。また超格子構造とすることで、さらに結晶性が良くなり、閾値電圧V<sub>f</sub>を低く押さえることができる。超格子構造とは、互いに組成の異なる半導体層を弾性臨界膜厚以下の膜厚で複数層積層した構造であり、窒化物半導体層同士で超格子構造を作製する場合には、単位窒化物半導体層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは40オングストローム以下、100オングストローム以上に調整する。

【0010】

【実施例】図1は本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。以下、この図を元に実施例1について説明する。なお本発明の発光素子は図1の構造に限定されるものではない。

【0011】[実施例1]

(バッファ層2) 2インチφ、C面を主面とするサファイアよりなる異種基板1をMOVPE反応容器内にセットし、500℃でトリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)を用い、Ga<sub>1-x</sub>Nよりなる第1のバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。第1のバッファ層成長後、1050℃で同じくGa<sub>1-x</sub>Nよりなる第2のバッファ層を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0012】(n側コンタクト層3) 以上のようにして作製したサファイア基板上的Ga<sub>1-x</sub>Nに、次にアンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスをを用い、1050℃でSiを1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGa<sub>1-x</sub>Nよりなるn側コンタクト層3を4.5μmの膜厚で成長させる。

【0013】(中間層4) 次に850℃から950℃、好ましくは880℃で、TMI(トリメチルインジウム)、TMG、アンモニアを用い、SiドープのIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる中間層5を0.5μm以下の膜厚、好ましくは0.15μmの膜厚で成長させる。なお、この中間層は省略が可能である。

【0014】(n側クラッド層5) 続いて、TMIを止めて、TMA(トリメチルアルミニウム)を流し、1050℃にしてアンドープAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、Siを1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたn型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚0.2μm~1.5μm、好ましくは0.7μmの超格子よりなるn側クラッド層5を成長させる。n側クラッド層は、Alを含む窒化物半導体層、好ましくはAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0 < x < 1) を含む超格子構造とすることが望ましく、さらに好ましくはGa<sub>1-x</sub>NとAlGa<sub>x</sub>Nとを積層した超格子構造とする。超格子とした場合、不純物はいずれか一方の層に多くをドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。

【0015】(n側光ガイド層6) 続いて、シランガスを止め、TMIを流し、850℃~950℃、好ましくは880℃でアンドープIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる層を10オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMIを止めて、アンドープGa<sub>1-x</sub>Nよりなる層を10オングストロームの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚50オングストローム~2500オングストローム、好ましくは500オングストローム~800オングストローム、更に好ましくは750オングストロームの超格子よりなるn側光ガイド層6を成長させる。

【0016】(活性層7) 続いて、TMIを流し、75

0℃～850℃、好ましくは820℃でアンドープ  $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  からなる井戸層を30オングストローム、アンドープ  $\text{GaN}$  からなるキャップ層を10オングストローム、続いて850℃～950℃、好ましくは880℃でアンドープの  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなるバリア層を60オングストローム成長させ、これを1ペアとして合計6ペア積層した活性層7を成長させる。

【0017】(p側キャップ層8)次にTMIを止め、TMAを流し、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  よりなるキャップ層8を10オングストローム以上、0.1  $\mu\text{m}$ 以下、好ましくは100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0018】(p側光ガイド層9)続いて、TMAを止め、TMIを流し、850℃～950℃、好ましくは880℃で、アンドープ  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  よりなる層を10オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMIを止めて、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{18} \sim 3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした  $\text{GaN}$  よりなる層を10オングストロームの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚50オングストローム～2500オングストローム、好ましくは500オングストローム～800オングストローム、更に好ましくは750オングストロームの超格子よりなるp側光ガイド層9を成長させる。

【0019】(p側クラッド層10)続いて、TMAを流して、850℃～1050℃でアンドープ  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  よりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、 $\text{Mg}$ を $3 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした  $\text{GaN}$  よりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子構造を構成し、総膜厚0.2  $\mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$ 、好ましくは0.7  $\mu\text{m}$ の超格子よりなるp側クラッド層10を成長させる。

【0020】(p側コンタクト層11)最後に、850℃～1050℃でp側クラッド層10の上に、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型  $\text{GaN}$  よりなるp側コンタクト層11を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型の  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) で構成することができ、好ましくは  $\text{Mg}$  をドープした  $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaN}$  とすれば、p電極と最も好ましいオーミック接触が得られる。コンタクト層11は電極を構成する層であるので、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ より低いと、電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成を  $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaN}$  若しくは、 $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaN}$  を含む超格子とすると、電極材料と好ましいオーミックが得られやすくなる。

【0021】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェハーを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層11の表面に、所定の形状のマスクを介して、

幅1.5  $\mu\text{m}$ のストライプからなる  $\text{SiO}_2$  よりなる保護膜を作製する。保護膜形成後、RIE(反応性イオンエッチング)を用い、図1に示すように、p側クラッド層10とp側光ガイド層9との界面付近までエッチングを行い、幅1.5  $\mu\text{m}$ のストライプ状の導波路を形成する。

【0022】ストライプ導波路形成後、 $\text{SiO}_2$  マスクをつけたまま、窒化物半導体層の表面に  $\text{ZrO}_2$  よりなる絶縁膜を形成する。絶縁膜形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p側コンタクト層上に形成した  $\text{SiO}_2$  を溶解除去し、リフトオフ法により  $\text{SiO}_2$  と共に、p側コンタクト層上にある  $\text{ZrO}_2$  を除去する。

【0023】このように、活性層よりも上部にある層をストライプ状のリッジ形状とすることにより、活性層の発光がストライプリッジの下に集中するようになって閾値が低下する。特に超格子よりなるp側クラッド層10以上の層をリッジ形状とすることが望ましい。

【0024】次にリッジ表面に  $\text{SiO}_2$  マスクを形成し、RIEにてエッチングを行い、n側コンタクト層3の表面を露出させる。次にp側コンタクト層11のリッジ最表面に  $\text{Ni}$  と  $\text{Au}$  よりなるp電極20をストライプ状に形成する。p側コンタクト層と好ましいオーミックが得られるp電極20の材料としては、例えば  $\text{Ni}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Ni}/\text{Au}$ 、 $\text{Pt}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{Au}$  等を挙げることができる。

【0025】一方、 $\text{Ti}$  と  $\text{Al}$  よりなるn電極22を先ほど露出させたn側コンタクト層3の表面にストライプ状に形成する。n側コンタクト層3と好ましいオーミックの得られるn電極22の材料としては  $\text{Al}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Sn}$ 、 $\text{In}$  等の金属若しくは合金が好ましい。

【0026】次に図1に示すようにp電極20と、n電極22との間に露出した窒化物半導体層の表面に  $\text{SiO}_2$  よりなる絶縁膜30を形成し、この絶縁膜30を介してp電極20と電氣的に接続したpパッド電極21、およびn電極22と電氣的に接続したnパッド電極23を形成する。このpパッド電極22は実質的なp電極21の表面積を広げて、p電極側をワイヤーボンディング、ダイボンディングできるようにする作用がある。一方、nパッド電極23はn電極22の剥がれを防止する作用がある。

【0027】以上のようにして、p、n両パッド電極形成後、サファイア基板のa面に沿った、窒化物半導体のM面(窒化物半導体を六角柱で表した場合にその六角柱の側面に相当する面)で  $\text{GaN}$  を劈開してウェハーをバー状とし、そのバーの劈開面に共振面を作製する。共振面作製後、さらに共振面に垂直な方向でバー状のウェハーを切断してレーザチップとした。

【0028】次にそれぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温におい

て閾値電流密度 $2.0\text{ kA/cm}^2$ 、閾値電圧 $4.0\text{ V}$ で、発振波長 $455\text{ nm}$ の連続発振が確認され、 $1000$ 時間以上の寿命を示した。

【0029】[実施例2] 実施例1において、活性層中の井戸層の組成を $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{N}$ とした他は同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温において閾値電流密度 $2.0\text{ kA/cm}^2$ 、閾値電圧 $4.0\text{ V}$ で、発振波長 $520\text{ nm}$ の連続発振が確認され、 $500$ 時間以上の寿命を示した。

【0030】[実施例3] 実施例1において、活性層中のキャップ層の組成を $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ とした他は同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度 $2.0\text{ kA/cm}^2$ 、閾値電圧 $4.0\text{ V}$ で、発振波長 $455\text{ nm}$ の連続発振が確認され、 $500$ 時間以上の寿命を示した。

【0031】[実施例4] 実施例1において、 $n$ 側光ガイド層を積層後、続いて、 $\text{TMI}$ を流し、 $750^\circ\text{C}\sim 850^\circ\text{C}$ 、好ましくは $820^\circ\text{C}$ でアンドープ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ からなる井戸層を $30$ オングストローム、アンドープ $\text{GaN}$ からなるキャップ層を $10$ オングストローム、続いて $\text{TMI}$ を止め、 $850^\circ\text{C}\sim 950^\circ\text{C}$ 、好ましくは $880^\circ\text{C}$ でアンドープの $\text{GaN}$ からなるバリア層を $60$ オングストローム成長させ、これを $1$ ペアとして合計 $6$ ペア積層した活性層 $7$ を成長させた。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1と同様の結果が得られた。

【0032】[実施例5] 実施例1において、活性層 $7$ を形成後、続いてアンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる層を $10$ オングストローム、 $\text{Mg}$ を $1$ 層目だけ $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブし、 $2$ 層目以降は $1\times 10^{18}\sim 3\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした $\text{GaN}$ よりなる層を $10$ オングストローム、それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚 $750$ オングストロームの超格子よりなる $p$ 側光ガイド層 $9$ を成長させる以外は同様にしてレーザ素子を作製した。その結果、実施例1とほぼ同様の結果が得られた。

【0033】[実施例6]  $2$ インチ $\phi$ 、 $C$ 面を主面とするサファイアよりなる異種基板 $1$ をMOVPE反応容器内にセットし、 $500^\circ\text{C}$ でトリメチルガリウム( $\text{TMG}$ )、アンモニア( $\text{NH}_3$ )を用い、 $\text{GaN}$ よりなるバッファ層を $200$ オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、 $1050^\circ\text{C}$ で同じく $\text{GaN}$ よりなる下地層を $4\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0034】下地層成長後、ウエハーを反応容器から取り出し、この下地層の表面に、ストライプ幅 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔(窓部) $2\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を形成する。保護膜形成後、ウエハーを再度MOVPEの反応容器内にセットし、温度を $1050^\circ\text{C}$ にして、 $\text{TMG}$ 、アンモニアを用い、アンドープ $\text{GaN}$ 層を $10\text{ }\mu\text{m}$ 成長させ、 $\text{SiO}_2$ の表面を覆う。成長後、ウエハ

ーをMOVPE装置からHVPE装置に移し $\text{Ga}$ メタルとアンモニア、 $\text{HCl}$ 、シランガスを用い、 $\text{Si}$ を $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした $n$ 型 $\text{GaN}$ 層を $200\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0035】 $n$ 型 $\text{GaN}$ 層形成後、実施例1と同様にして、 $n$ 側クラッド層、 $n$ 側光ガイド層、活性層、 $p$ 側キャップ層、 $p$ 側光ガイド層、 $p$ 側クラッド層、 $p$ 側コンタクト層の順で積層していく。さらに $\text{RIE}$ によって $n$ 側コンタクト層の表面を露出させ、リッジ、 $p$ 電極、 $n$ 電極をそれぞれ形成し、窒化物半導体の $M$ 面で $\text{GaN}$ を劈開することによって共振面を形成し、レーザチップを得た。

【0036】電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、実施例1と同様に、室温において閾値電流密度 $2.0\text{ kA/cm}^2$ 、閾値電圧 $4.0\text{ V}$ で、発振波長 $455\text{ nm}$ の連続発振が確認され、 $1000$ 時間以上の寿命を示した。

【0037】[実施例7] 図2は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、図1と同じくレーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の図を示している。以下この図を元に実施例7について説明する。まず $1$ インチ角の $\text{Si}$ ドーブ $\text{GaN}$ 基板 $2$ を用意する。この $\text{GaN}$ 基板は、以下のようにして成長させたものである。

【0038】( $\text{GaN}$ 基板 $2$ )  $2$ インチ $\phi$ 、 $C$ 面を主面とするサファイアよりなる異種基板 $1$ をMOVPE反応容器内にセットし、 $500^\circ\text{C}$ でトリメチルガリウム( $\text{TMG}$ )、アンモニア( $\text{NH}_3$ )を用い、 $\text{GaN}$ よりなるバッファ層を $200$ オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、 $1050^\circ\text{C}$ で同じく $\text{GaN}$ よりなる下地層を $4\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0039】下地層成長後、ウエハーを反応容器から取り出し、この下地層の表面に、ストライプ幅 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔(窓部) $2\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を形成する。保護膜形成後、ウエハーを再度MOVPEの反応容器内にセットし、温度を $1050^\circ\text{C}$ にして、 $\text{TMG}$ 、アンモニアを用い、アンドープ $\text{GaN}$ 層を $10\text{ }\mu\text{m}$ 成長させ、 $\text{SiO}_2$ の表面を覆う。成長後、ウエハーをMOVPE装置からHVPE装置に移し $\text{Ga}$ メタルとアンモニア、 $\text{HCl}$ 、シランガスを用い、 $\text{Si}$ を $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした $n$ 型 $\text{GaN}$ 層を $200\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。ここまでは実施例3と同じであるが、さらに $n$ 型 $\text{GaN}$ 層成長後、サファイア基板側から研磨して、サファイア基板、バッファ層、下地層、保護膜を除去することにより、総膜厚 $170\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{Si}$ ドーブ $\text{GaN}$ からなる $\text{GaN}$ 基板 $2$ を作製する。 $\text{Si}$ ドーブ $\text{GaN}$ の $\text{Si}$ 濃度は $5\times 10^{17}\sim 1\times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。

【0040】得られた $\text{GaN}$ 基板 $2$ 上に、 $n$ 側クラッド層から、 $p$ 側コンタクト層までを実施例1と同様にして

積層し、続いてp側をリッジ形状とする。リッジ形成後、p側コンタクト層11のリッジ最表面にNi/Auよりなるp電極20をストライプ状に形成し、p電極20以外の最表面の窒化物半導体層にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜30を形成し、この絶縁膜を介してp電極20と電気的に接続したpパッド電極21を形成する。p側電極形成後、GaN基板の窒化物半導体が積層されていない第2の主面上にn電極22としてTi/Alよりなるオーミック電極及びTi、Pt、Au、Au/Snの4層よりなるメタライズ電極を全面に形成する。

【0041】以上のようにして電極を形成後、窒化物半導体のM面でGaN基板を劈開してウエハーをバー状とし、そのバーの劈開面に共振面を作製する。共振面作製後、さらに共振面に垂直な方向でバー状のウエハーを切断してレーザチップとした。

【0042】次にp電極側をワイヤーボンディング、n電極側をステムなどの支持体とダイボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、実施例1と同様に室温において閾値電流密度2.0kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.0Vで、発振波長455nmの連続発振が確認され、1000時間以上の寿命を示した。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では光ガイド層の屈折率を高くし、光ガイド層とクラッド層との屈折率差が大きくなるような新規な素子構造とすることで、光導波路にあたる光ガイド層より内側での光の閉じ

込め効率が良くなり、400nmから540nm、特に430nmから540nmにおいて、発光効率の高い窒化物半導体レーザ素子が提供される。

【図面の簡単な説明】

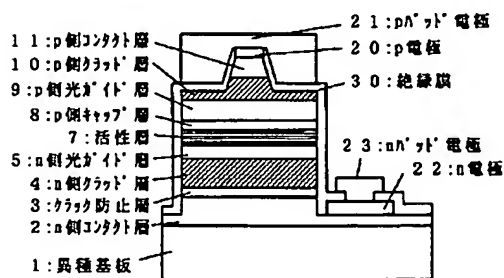
【図1】図1は、本発明の窒化物半導体素子の一実施の形態を示した模式的断面図である。

【図2】図2は、本発明の窒化物半導体素子の別の実施の形態を示した模式的断面図である。

【符号の簡単な説明】

- 1・・・異種基板
- 2・・・GaN基板
- 3・・・n側コンタクト層
- 4・・・中間層
- 5・・・n側クラッド層
- 6・・・n側光ガイド層
- 7・・・活性層
- 8・・・p側キャップ層
- 9・・・p側光ガイド層
- 10・・・p側クラッド層
- 11・・・p側コンタクト層
- 20・・・p電極
- 21・・・pパッド電極
- 22・・・n電極
- 23・・・nパッド電極
- 30・・・絶縁膜

【図1】



【図2】

